第40卷 第12期
2023年12月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 12
Dec. 2023

机械沙障固沙对生物土壤结皮形成发育的影响

闫沛迎[1]， 屈建军[2,3]， 王理德[1]， 肖建华[2]， 张 圆[2]， 王晓红[4]， 郭树江[1]

（1. 甘肃省治沙研究所民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站，甘肃 民勤 730070；2. 中国科学院西北生态环境资源研究院，敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站，沙漠与沙漠化重点实验室，甘肃 兰州 730000；3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)，广东 广州 511458；4. 白银市平川区农业农村局，甘肃 白银 730913）

摘 要：生物土壤结皮对荒漠生态系统维持稳定发挥着重要作用。因此，在干旱沙区利用机械沙障辅助措施促使生物土壤结皮的形成发育具有重要意义。本文利用微生物高通量测序结合土壤理化性质测定研究机械沙障固沙(草方格、网格和覆网)对生物土壤结皮形成发育的影响。结果表明：草方格和网格中结皮颜色与藻结皮相近，覆网中结皮的盖度最高，厚度最厚；3种机械沙障固沙中结皮的黏粒和粉粒比例均显著高于流沙，覆网中结皮的营养化程度最高，也就是成土程度最高；从3种机械沙障固沙中结皮真菌、细菌和蓝藻的组成分析得知，覆网结皮的细菌组成中蓝藻门（Cyanobacteria）和蓝藻组成中瘦鞘丝藻属（*Leptolyngbya*）的比例比草方格和网格中结皮的高，真菌组成中座囊菌纲（Dothideomycetes）和蓝藻组成中微鞘藻属（*Microcoleus*）的比例低，而且独有微生物OTU数量最高。依据以往干旱区生物土壤结皮成土过程及微生物演替规律推测，覆网中结皮的发育程度很可能高于草方格和网格，其形成和发育轨迹不同于后两者。因此，3种机械沙障固沙中覆网最有利于生物土壤结皮的形成发育。

关键词：生物土壤结皮；机械沙障；微生物演替；高通量测序

机械沙障是最早应用于防风固沙的工程措施之一，是指在沙面上设置机械或植物障碍物，以此控制风沙流动的方向、速度和结构，改变蚀积状况，达到防风阻沙、改变风的作用力及地貌状况等[1-3]。常用的沙障材料包括植物材料[4-5](麦草、沙柳、草绳及柠条等)、无机材料[6](砾石、尼龙网及塑料网等)和有机化工材料[7]〔如聚乳酸(polylactic acid, PLA)纤维〕等。依据配置方式的不同，机械沙障可分为平铺式和直立式，平铺式沙障可细分为隐蔽式和半隐蔽式，直立式沙障可分为高立式和中立式。目前，沙障种类繁多，加其配置方式不同，其固沙效果各异[8]。

生物土壤结皮（Biological Soil Crusts, BSCs）被称为地球的“活皮肤”，其盖度约占陆地面积的12%[9]，它主要分布在植物生长受限的干旱半干旱区。BSCs在维持荒漠生态系统结构和功能稳定性，以及物质和能量交换等方面都具有非常重要的意义[10-14]。近些年来，利用人工生物土壤结皮或通过辅助措施促使BSCs的形成已成为新的生物固沙途径[15]，而BSCs的形成首先需要稳定的沙面。已有防沙治沙工作者通过在沙面设置直立的草方格、尼龙网格沙障和平铺式的尼龙网来稳定沙面。BSCs形成的前期是物理结皮形态，初期阶段为藻类结皮，微生物是它们的主要生物组成部分，本文通过对不同机械沙障固沙中物理结皮和藻结皮理化性质及细菌、真菌和蓝藻组成的比较分析，目的在于阐明不同机械沙障固沙对BSCs形成发育的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于腾格里沙漠东南缘沙坡头固沙区（37°32′N、105°02′E，海拔1330 m），该区处在阿拉善高原荒漠与荒漠草原过渡地带，属典型的大陆性季风气候；年平均气温10.6 ℃，绝对最低气温-25.1 ℃，绝对最高气温38.1 ℃，气温年较差为63.2 ℃；年平均降水量186.2 mm，年降水变幅大，集中于夏秋两

收稿日期：2023-06-06； **修订日期**：2023-09-07
基金项目：甘肃省自然科学基金(21JR7RA732)；甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室开放基金项目（GSDC201904）；国家自然科学基金（41901253）；甘肃省科技创新人才计划“西部之光”人才计划（22JR9KA028）
作者简介：闫沛迎（1980-），女，博士，主要从事荒漠区生物土壤结皮研究. E-mail: YPY_1980@lzb.ac.cn

季(5—9月);沙丘的持水力很弱,潜在蒸发量高达3000 mm以上,为降雨量的20倍左右,相对湿度低;风速达5 m·s^{-1}的起沙风年均272次,集中在3—5月,年均风速2.9 m·s^{-1},最大风力达11级。

1.2 试验设置和样品采集

试验于2005年左右在沙坡头沙丘顶部平缓地带铺设3种沙障。第一种是设置1 m×1 m直立式绿色尼龙网沙障(简称网格,WG);第二种是首先平铺白色尼龙网,然后在此之上设置1 m×1 m直立式绿色尼龙网沙障(简称覆网,FW);第三种是设置1 m×1 m的草方格沙障(CFG);以未铺设任何沙障的流沙为对照。2014年5月底,带上无菌口罩与手套,用灭过菌的小铲随机铲取草方格、网格和覆网固沙表层结皮样,取流沙表层约2 cm沙样作为对照(LS)(图1),放入无菌袋中,每种固沙结皮和流沙表层随机取样3个重复,每个重复随机取样6个点,取样后将结皮样和沙样装入冷藏箱中,运回实验室储存于低温冰箱中待分析。

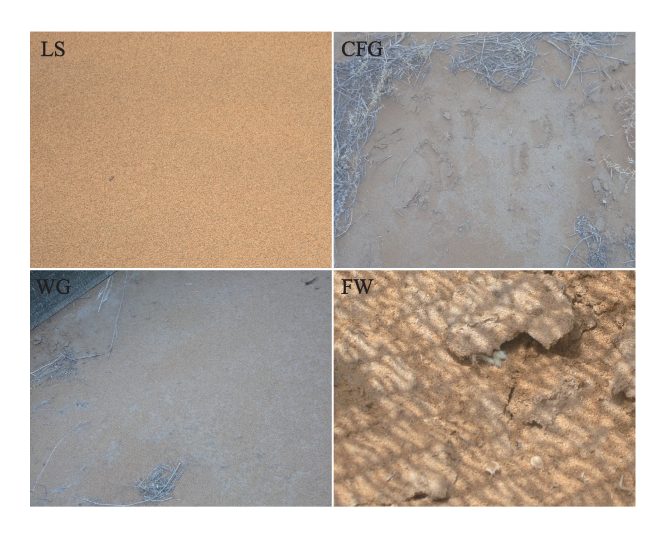


图1 流沙和机械沙障固沙表层

Fig. 1 Surface layer of move sand and sand barriers for sand fixation

1.3 土壤理化性质测定

用镊子随机夹取结皮后,用游标卡尺在同一结皮的不同部位测量2个厚度值,不同固沙结皮样测得6个厚度值。

风干结皮与沙样后,研磨结皮样品,然后过2 mm筛用于以下理化性质的测定:(1) 全氮用半微量凯氏定氮法测定;(2) 有机碳用重络酸钾外氧化加热法测定;(3) 有效氮用碱解扩散法测定;(4) 全磷用$HClO_4$-H_2SO_4消煮钼锑抗比色法测定;(5) 速效磷用$NaHCO_3$浸提钼蓝比色法测定;(6) 有效钾用NH_4Ac浸提-原子吸收分光光度法测定;(7) pH用电位法测定;(8) 总盐和电导率用电导率仪测定;(9) 土壤颗粒组成用激光粒度仪测定。

1.4 微生物实验

使用 PowerSoil DNA Isolation Kit 试剂盒(Mo-Bio Laboratories,Carlsbad, CA)对液氮研磨后的结皮及流沙样品进行DNA抽提;针对细菌、蓝藻、真菌利用表1中的引物进行扩增,基因文库构建之后进行Illumina Miseq上机测序,测序完成后使用Trimmomatic, FLASH, Pear, usearch 软件对数据进行处理,基于Silva(Release128/132 http://www.arb-silva.de)数据库对OTU代表序列进行比对分析,并对OTU聚类统计的相似水平控制在97%,得到分类群的生物信息。

表1 测序引物

Tab. 1 Sequencing primer

扩增对象	引物名称	引物序列(5'-3')
细菌	F515	GTGCCAGCMGCCGCGGTAA
	R806	GGACTACVSGGGTATCTAAT
蓝藻	CYA359F	GGGGAATYTTCCGCAATGGG
	CYA781R(a)[e]	GACTACTGGGGTATCTAATCCCATT
	CYA781R(b)[e]	GACTACAGGGGTATCTAATCCCTTT
真菌	817F	TTAGCATGGAATAATRRAATAGGA
	1196R	TCTGGACCTGGTGAGTTTCC

注:*e*,反向引物CYA781R是CYA781R(a)和CYA781R(b)的等摩尔混合物。

1.5 数据分析

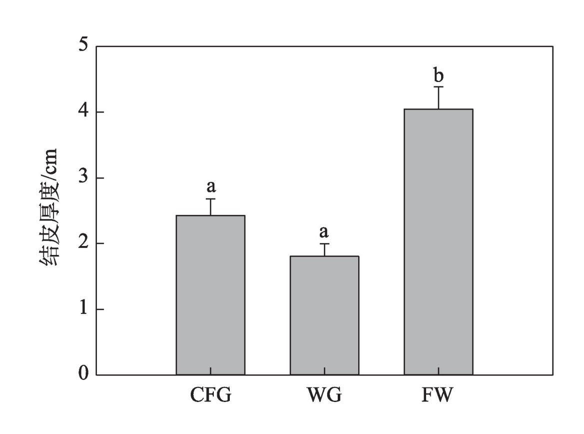
使用SPSS 22.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)及多重比较(LSD法),数据取平均值±标准差;使用R语言ggplot2、VennDiagram、cowplot及magick等包进行柱状图及韦恩图的绘制。

2 结果与分析

2.1 结皮形态特征及固沙效果

图1中设置的草方格和网格表面形成的结皮颜色相近,呈灰白色,这是BSCs初期表面颜色,因此,可以断定其结皮为藻结皮;揭起覆网沙面形成的结皮颜色与流沙表面的颜色接近,此结皮为BSCs的雏形物理结皮。设置3种沙障的固沙效果可以通过结

皮形成的盖度和厚度来衡量,网格促使结皮形成盖度50%~60%;覆网形成结皮盖度90%~100%;草方格因麦草容易老化,失效快,促使形成结皮盖度仅有20%~30%。通过对这3种沙障固沙表面结皮厚度测量的结果比较(图2),草方格表面结皮的厚度与网格的相近,分别为2.43 cm和1.81 cm,而覆网下的结皮明显厚于草方格和网格,为4.05 cm($P<0.05$)。虽然,覆网形成结皮的颜色与藻结皮不同,但它的固沙效果是最好的。



注:不同小写字母分别表示不同沙障固沙表层结皮厚度差异显著($P<0.05$)。

图2 不同沙障固沙表层结皮厚度比较

Fig. 2 Comparison of surface crust thickness of different sand barriers for sand fixation

2.2 结皮的理化性质

从图3中可以看出,草方格中BSCs化学特征除总盐含量和电导率以外,其他化学特性与覆网下结皮的相同;网格中BSCs的有机碳和pH显著低于其他2种沙障中结皮,而速效磷和速效钾显著高于后者;总体上,3种沙障中结皮化学营养物质显著高于流沙,且pH值明显降低,说明在流动沙丘表面设置3种沙障明显改善了沙面的化学性质;除草方格以外,网格和覆网中BSCs中的总盐含量和电导率较流沙的无明显差异,这说明在成土过程中,总盐和电导率的改变较其他化学因子更难。

由表2可知,3种沙障中结皮的黏粒、细粉砂和粉粒的比例较流沙显著增高,相应的,3种沙障中结皮的细砂和粗砂比例较流沙显著降低,说明3种沙障经过一定年限,能够明显提高沙粒的成土程度;3种沙障中结皮的沙土粒径比例之间进行比较,覆网下结皮的黏粒和粉粒比例显著高于草方格,粗砂的比例明显低于草方格,而网格中BSCs的粉粒比例显著高于草方格,细砂和粗砂比例显著低于草方格;覆网下结皮的粒径组成与网格的一致。

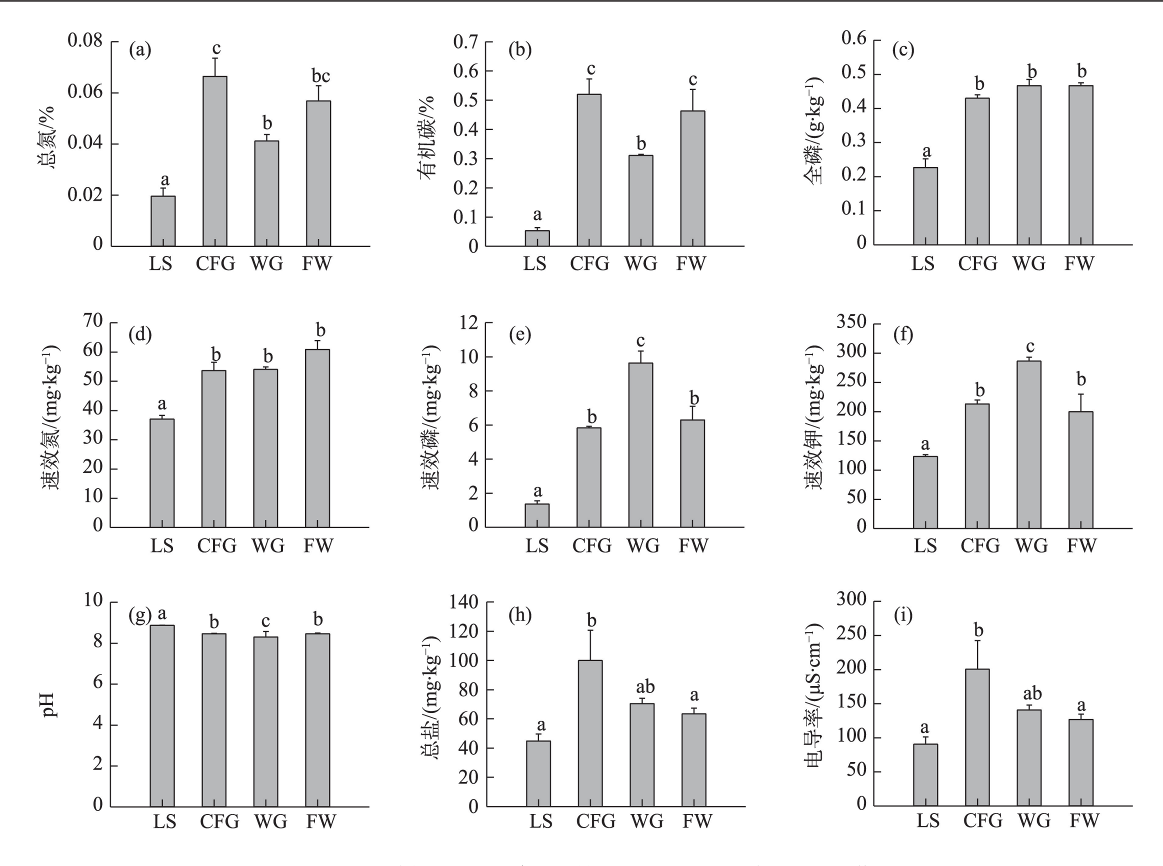
2.3 结皮微生物组成

图4柱状图呈现的是流沙与3种沙障中结皮的细菌门(图4a)、真核生物纲(图4b)和蓝藻属(图4c)的相对丰度组成。无论是流沙还是3种沙障结皮,Cyanobacteria都是其主要的细菌组成部分,相对丰度高达55.4%~92.8%,且覆网结皮中最高;Intramacronucleata是一种原生动物,很明显,它的相对丰度在覆网结皮中最高,其次是草方格和网格结皮。座囊菌纲(Dothideomycetes)的相对丰度在流沙中最高(19.0%),在草方格和网格结皮中接近,在覆网结皮中最低(14.0%);从图4c可以看出,微鞘藻属(*Microcoleus*)的相对丰度在流沙中最低(5.2%),在网格和覆网结皮中相近,在草方格结皮中最高(11.1%),而瘦鞘丝藻属(*Leptolyngbya*)的相对丰度在覆网结皮中最高(12.0%),且在其他2种沙障结皮中也高于流沙。

从流沙和3种沙障结皮中共恢复出细菌618个OUT,蓝藻72个OUT,真菌124个OUT。图5a表示流沙和结皮的共享细菌OTU 242个,图5b表示共享真菌OTU 46个,图5c表示共享蓝藻OTU 20个;对沙障结皮进行两两共享微生物OTU数量的比较,发现网格和覆网结皮中的共享细菌OTU最多(53个),共享真菌也最多(5个),共享蓝藻与草方格和网格共享OTU同样多(3个),比草方格和覆网共享蓝藻OTU多;流沙与3种沙障结皮进行两两共享微生物OTU数量的比较,发现流沙与草方格结皮中的共享细菌OTU最多(23个),共享蓝藻也最多(6个),共享真菌与流沙和覆网共享OTU同样多(3个),比流沙和网格共享蓝藻OTU多。同时也发现,流沙和覆网结皮中的独有微生物OTU数量比较高,而草方格和网格结皮中独有的微生物OTU数量相同或相近。

3 讨 论

在干旱沙漠区,流沙被植物或沙障固定后,大气降尘和粉粒在流沙表层堆积经雨滴的冲击等物理作用后形成物理结皮,伴随着土壤微生物和蓝藻等在流沙表层拓殖,物理结皮逐渐演变为BSCs的初级阶段藻类结皮[16]。单从结皮的外部形态看,网格和草方格形成的结皮颜色相近,为灰白色,可以被



注：不同小写字母分别表示不同沙障固沙结皮与流沙的化学特征差异显著（$P<0.05$）。

图3 不同沙障固沙结皮与流沙的化学特征比较

Fig. 3 Comparison of chemical characteristics of sand fixing crust and move sand with different sand barriers

表2 不同沙障固沙结皮与流沙土壤颗粒粒径组成的比较

Tab. 2 Comparison of particle size composition between different sand barriers for sand fixation crust and move soil

样品	黏粒 (<2 μm)	细粉砂 (2~10 μm)	粉粒 (10~50 μm)	细砂 (50~250 μm)	粗砂 (250~2000 μm)
LS	0.60±0.01a	0.28±0.02a	2.27±0.11a	76.62±1.85a	20.22±1.86a
CFG	1.85±0.04b	4.68±0.21b	12.20±1.40b	64.07±0.92b	17.11±1.11b
WG	1.95±0.10bc	4.92±0.62b	14.38±0.87c	68.65±2.37c	10.10±0.87c
FW	2.19±0.27c	5.07±0.54b	14.38±1.01c	66.29±0.64bc	11.73±1.08c

注：不同小写字母分别表示不同沙障固沙结皮与流沙土壤颗粒粒径组成差异显著（$P<0.05$）。

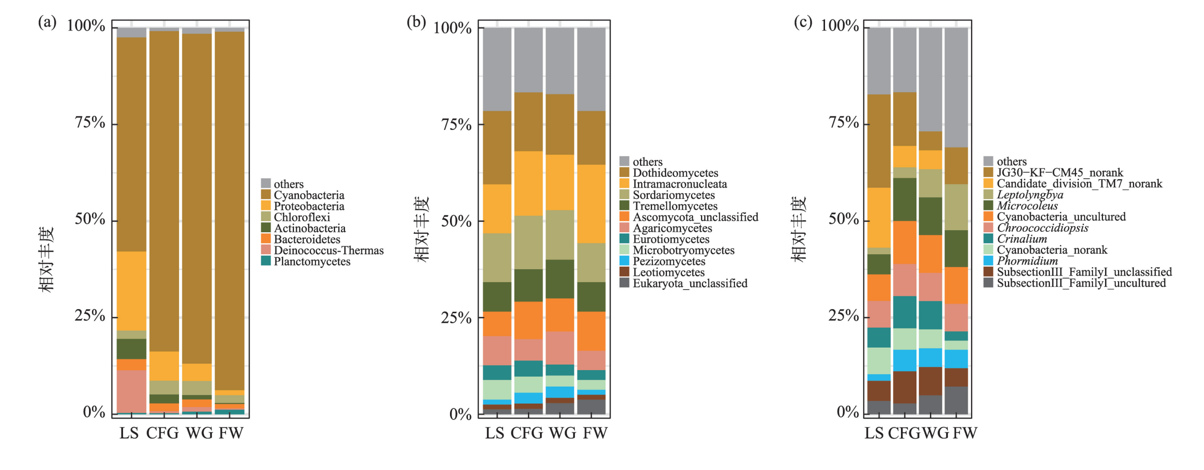


图4 不同沙障固沙结皮与流沙微生物相对丰度组成

Fig. 4 Relative abundance composition of sand fixing crusts and move sand microorganisms in different sand barriers

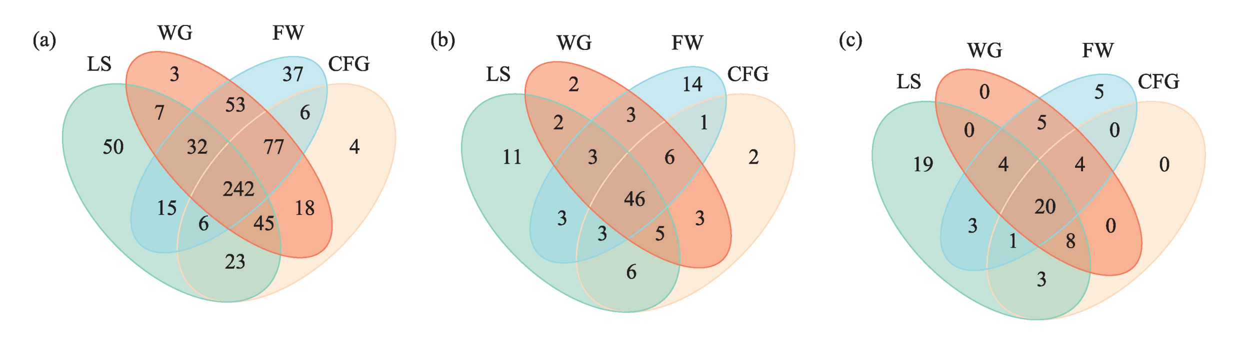


图5　不同沙障固沙结皮与流沙微生物韦恩图

Fig. 5　Microbail venn of sand fixation crusts from different sand barriers and move sand

认为是初期的藻结皮[17];而覆网下形成的结皮依然为土黄色被认为是物理结皮,与草方格和网格中的结皮相比较,它的结皮盖度更高和厚度更厚,具有较强的抗风蚀性,应该更有利于BSCs的形成和发育。

BSCs的形成发育是沙粒成土的过程。贫瘠的沙面主要通过光合生物和固氮微生物的作用开始营养化,沙面表层黏土化[18]。3种沙障中结皮的土壤粒径较流沙都变细了,尤其网格和覆网;而草方格和覆网中结皮的营养化程度比网格中的高,这可能是由于草方格中麦草的过早腐烂给土壤微生物的生长提供了营养物质,使其成土化过程加快,而覆网可能是由于一方面可以有效的降低风蚀,另一方面可以提高沙面表层温湿度,有利于微生物的生长代谢,这说明在沙面设置覆网有利于沙粒的成土过程。

同时,BSCs的形成发育也是生物群落的演替过程,对于初期的BSCs,主要是微生物群落的演替。大多数研究表明,物理结皮和藻结皮的优势类群是Cyanobacteria,而且,在初期的演替过程中,它在细菌类群种的比例会随着发育程度加深而升高[19];在Cyanobacteria中,*Microcoleus*和*Leptolyngbya*是作为BSCs形成的先锋物种属,这很可能与它们具有较高的抗旱和耐高温能力有关,而且它们在Cyanobacteria群落中的比例也会随着发育程度加深而升高[20-22]。在典型干旱区民勤BSCs演替的过程中,笔者发现,真菌Dothideomycetes群落在初期降低后期升高(未发表)。通过细菌、蓝藻和真菌群落的演替规律,覆网中结皮的发育程度很可能高于草方格和网格。

覆网中结皮外部形态看似还未达到初期的藻结皮,以物理结皮形态呈现,但它的营养和微生物群落演替程度似乎超越了草方格和网格中的藻结皮,这应该与覆网的遮荫保温保湿特性有关[2],设置覆网有利于BSCs结皮的形成,而且与草方格或网格BSCs的成土演替轨迹会有所不同,韦恩图的分析显示,覆网中结皮的微生物独有类群数量高,这也说明覆网促使BSCs形成发育的独特性。

4　结　论

通过对3种机械沙障固沙中形成结皮及流沙的理化和微生物特征的比较研究,得出以下结论:

(1) 草方格和网格中结皮的颜色接近藻结皮,覆网下结皮的颜色为土黄色,但后者比前两者中结皮的厚度厚;而且促使形成的结皮盖度也最高,草方格结皮盖度仅有20%~30%,网格结皮盖度50%~60%;覆网结皮盖度高达90%~100%。

(2) 3种机械沙障固沙结皮的养分比流沙均显著提高,pH值显著降低,黏土化程度提高;其中,草方格和覆网中结皮的营养化程度相近,而覆网与网格中结皮的粒径组成相似。

(3) 3种机械沙障固沙结皮及流沙中的微生物组成不同。其中,覆网结皮中Cyanobacteria的相对丰度最高,Dothideomycetes的相对丰度最低;微鞘藻属(*Microcoleus*)的相对丰度在草方格结皮中最高,而瘦鞘丝藻属(*Leptolyngbya*)的相对丰度在覆网结皮中最高,且独有微生物OUT数量也比草方格和网格结皮中的高。

参考文献(References):

[1]　孙保平, 丁国栋, 姚云峰. 荒漠化防治工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 38-52. [Sun Baoping, Ding Guodong, Yao Yunfeng. Desertification Control Engineering[M]. Beijing: China Forestry Press, 2000: 38-52.]

[2]　张圆, 李芳, 屈建军, 等. 机械沙障组合对土壤含水量及温度的

影响[J]. 中国沙漠, 2016, 36(6): 1533-1538. [Zhang Yuan, Li Fang, Qu Jianjun, et al. Effect of sand barrier combinations on the water content and temperature of soil[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(6): 1533-1538.]

[3] 张帅, 丁国栋, 高广磊, 等. 不同年限的草方格沙障对生态恢复的影响[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(5): 10-15. [Zhang Shuai, Ding Guodong, Gao Ghuanglei, et al. Effects of straw checkerboard barrier in different setting years on ecological restoration[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(5): 10-15.]

[4] 丁新辉, 刘孝盈, 刘广全. 我国沙障固沙技术研究进展及展望[J]. 中国水土保持, 2019(1): 35-37. [Ding Xinhui, Liu Xiaoying, Liu Guangquan. Research progress and prospects of sand barrier technology in China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2019(1): 35-37.]

[5] 高永, 邱国玉, 丁国栋, 等. 沙柳沙障的防风固沙效益研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(3): 111-116. [Gao Yong, Qiu Guoyu, Ding Guodong, et al. Effect of *Salix psammophila* checkerboard on reducing wind and stabilizing sand[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(3): 111-116.]

[6] Liu Li, Bo Tianli. Effects of checkerboard sand barrier belt on sand transport and dune advance[J]. Aeolian Research, 2020, 42: 100546.

[7] 王艺钊, 原伟杰, 丁国栋, 等. 聚乳酸(PLA)沙障凹曲面及沉积物粒度特征研究[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 671-678. [Wang Yizhao, Yuan Weijie, Ding Guodong, et al. Concave surface features and grain-size characteristics in polylactic acid sand barrier[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(3): 671-678.]

[8] 李红悦, 哈斯额尔敦. 机械沙障固沙效应及生态效应的研究综述[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2020, 56(1): 63-67. [Li Hongyue, Ha Sieerdun. Sand-fixing effect and ecological effect of mechanical sand barriers: A review[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2020, 56(1): 63-67.]

[9] Maier S, Tamm A, Wu DM et al. Photoautotrophic organisms control microbial abundance, diversity, and physiology in different types of biological soil crusts[J]. The ISME Journal, 2018, 12: 1032-1046.

[10] Belnap J, Lange O L. Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management[M]. Berlin, Germany: Springer, 2003: 503.

[11] Belnap J, Weber B, Büdel B. Biological soil crusts as an organizing principle in drylands[C]//Weber B, Büdel B, Belnap J. Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands. Cham, Switzerland: Springer, 2016.

[12] 李新荣, 谭会娟, 回嵘, 等. 中国荒漠与沙地生物土壤结皮研究[J]. 科学通报, 2018, 63(23): 2320-2334. [Li Xinrong, Tan Huijian, Hui Rong, et al. Study on biological soil crusts in deserts and sandlands of China[J]. Science Bulletin, 2018, 63(23): 2320-2334.]

[13] Bowker M A, Maestre F T, Mau R L. Diversity and patch-size distributions of biological soil crusts regulate dryland ecosystem multifunctionality[J]. Ecosystems, 2013, 16: 923-933.

[14] Zhang Y M, Wang H L, Wang X Q, et al. The microstructure of microbiotic crust and its influence on wind erosion for a sandy soil surface in the Gurbantunggut Desert of northwestern China[J]. Geoderma, 2006, 132: 441-449.

[15] Rossia F, Li H, Liu YD, et al. Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): Perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal[J]. Earth-Science Reviews, 2017, 171: 28-43.

[16] Li X R, Kong D S, Tan H J, et al. Changes in soil and vegetation following stabilisation of dunes in the southeastern fringe of the Tengger Desert, China[J]. Plant and Soil, 2007, 300: 221-231.

[17] Lan S B, Wu L, Zhang D L, et al. Assessing level of development and successional stages in biological soil crusts with biological indicators[J]. Microbial Ecology, 2013, 66: 394-403.

[18] Sonia Chamizo, Yolanda Cantón, Isabel Miralles, et al. Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 49: 96-105.

[19] Zhang B C, Kong W D, Wu N, et al. Bacterial diversity and community along the succession of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, northern China[J]. Journal of Basic Microbiology, 2016, 56: 670-679

[20] Garcia-Pichel F, Loza V, Marusenko Y, et al. Temperature drives the continental-scale distribution of key microbes in topsoil communities[J]. Science, 2013, 340: 1574-1577.

[21] Muñoz-Martín MÁ, Becerra-Absalón I, Perona E, et al. Cyanobacterial biocrust diversity in Mediterranean ecosystems along a latitudinal and climatic gradient[J]. New Phytologist , 2019, 221: 123-141.

[22] Rajeev L, Rocha U N, Klitgord N, et al. Dynamic cyanobacterial response to hydration and dehydration in a desert biological soil crust[J]. The ISME Journal, 2013, 7: 2178-2191.

Effect of sand barrier fixation on the formation and development of biological soil crust

YAN Peiying[1], QU Jianjun[2,3], WANG Lide[1], XIAO Jianhua[2], ZHANG Yuan[2], WANG Xiaohong[4], GUO Shujiang[1]

(1. Gansu Minqin National Studies Station for Desert Steppe Ecosystem, Gansu Desert Control Research Institute, Minqin 730070, Gansu, China; 2. Donghuang Gobi and Desert Ecology and Environment Research Station, Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, Guangdong, China; 4. Agricultural and Rural Bureau of Pingchuan District, Baiyin City, Baiyin 730913, Gansu, China)

Abstract: The biological soil crust is important for maintaining stability in desert ecosystems. Therefore, the use of sand barriers as auxiliary measures to promote the formation and development of biological soil crust in arid areas is of great significance. In this paper, the effects of sand fixation by sand barriers (straw checkerboard, nylon grids, and covered nets) on the formation and development of biological soil crusts were studied using microbial high-throughput sequencing combined with soil physical and chemical properties determination. The results showed that the crust thickness under the covered nets was the thickest, although the colors of the crust in the straw checkerboard and nylon grids were similar to that of the algae crust. The proportions of clay and powder particles in the crust of the three types of sand barriers for sand fixation were significantly higher than that of the moving sand. The nutrition degree of the crust in the covered nets was the highest, indicating the highest degree of soil formation. From the composition analysis of fungi, bacteria, and blue-green algae in crusts from the three types of sand barrier, it was found that the proportions of Cyanobacteria and *Leptolyngbya* in the crust in the covered nets were higher than those in the crust in the straw checkerboard and nylon grids. In contrast, the proportions of Dothedeomycotes and *Microcolleus* were lower, and the number of unique microbial OUT was highest. Based on the previous process of soil crust formation and microbial succession in arid areas, it was inferred that the degree of crust development in the cover nets was likely higher than that in the straw checkerboard and nylon grids and that their formation and development trajectory differ. Therefore, among the three types of sand barriers, the covered nets for sand fixation were more suitable for biological soil crust formation and development.

Keywords: biological soil crust; sand barrier; microbial succession; high-throughput sequencing